关于手性定义的讨论

史志强*

陕西师范大学物理系，710062

手性对称性与手性是两个不同的概念，前者研究对称性，后者是手性不对称的简称，它研究对称性的破缺。我们关注手性实际上是研究自然界的手性不对称性，而不是手性对称性。手性可分为结构手性和功能手性两种。结构手性是“互为镜像”的两个物体在自然界存在的数量不同，它强调的是几何结构，手形手性、螺旋手性和旋转手性都是结构手性。功能手性强调的是功能，即它们的几何结构或者坐标系是手性对称的，但其功能（物理性质、化学性质、数学意义、生物活性、药物活性、生物的行为和习性等）不是“互为镜像”的。功能手性是结构手性的拓展，它使手性的表现形式更为多样化。手性分子绝大多数是一种功能手性分子。

关键词：手性对称性，手性，结构手性，功能手性

1.引言

手性是自然界的普遍现象，它几乎涉及自然科学的所有学科。手性科学包括了许多重要和有广泛应用价值的自然科学前沿问题，并为药物学、生物工程技术、材料科学和信息科学等提供理论基础和物质支持，是当前科学研究的热点领域之一。手性在科学文献和日常生活中出现的频率日益增长，但什么是手性，在许多时候是不明确的，甚至的混乱的。有的文献中说“手性指左手与右手的差异特征”，是什么差异特征？没有说清楚。有的文献中说：“手性一词指一个物体不能与其镜像相重合”，这显然是把手性对称性等同于手性，从而混淆了手性与手性对称性的本质区别。在手性研究中，我们必须首先明确手性的科学定义。本文详细讨论手性对称性和手性的基本概念、科学定义和主要类型，以及它们的相互关系与区别，并且指出手性在自然界的各种表现形式和准确确定手性方向的方法。

2.手性对称性

如果两个几何图形互成镜像，但它们不能用平移、旋转和反射等方法重合在一起，则称这两个图形是手性对称的。手性对称性的最典型例子是人的左手和右手。每个人都有两只手，如图 1 所示，镜外的观察者看到右手在平面镜中的像是左手，不难想象，左手在平面镜中的像必然是右手，它们互为镜像。左手和右手的形状和大小完全相同，但是你可以用平移或转动的方法将两只手完全重合起来吗？不能。如果使用反射的方法，把两只手合起来，虽然手心和手心重合在一起，但手背和手背却没有重合在一起，所以还是不能把两只手重合在一起。即使组合运用几种对称性操作，也不能使它们重合在一起。我们由此得出结论：右手不能与右手的镜像重合，左手也不能与左手的镜像重合；右手只能和左手的镜像完全重合在一起，左手只能和右手的镜像完全重合在一起。左手和右手的这种对称性就是手性对称性。




图 1 右手和它的镜像

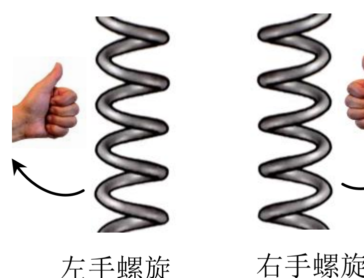
---

* zqshi@snnu.edu.cn

一般来说，有四种手性对称性，分别是手形手性对称性、螺旋手性对称性、旋转手性对称性和坐标系手性对称性，它们是描述和讨论各种手性问题的基础。

左手和右手是手性对称性的，除左手和右手外，人的左眼和右眼、左耳和右耳、左腿和右腿、左脚和右脚、鸟的两个翅膀，等等，也都是手性对称的。类比左手与右手，我们把具有手性对称性的这一类图形叫做手形图形，并把相应的手性称为手形手性。具有手形手性对称性的几何图形应该是没有任何其他对称性的立体图形，从这个意义上讲，任何一个不规则的立体图形都是手形的。但是，我们感兴趣的几何图形必须是自然界客观存在的，有研究价值的，并且像左手和右手那样，有一定规则结构的几何图形。

自然界许多物体的几何结构或者运动轨迹是螺旋状的，螺旋有左手螺旋和右手螺旋，如图 2 所示。螺旋的方向用左手螺旋法则和右手螺旋法则确定。握紧手的四指，伸直大拇指，用四指指向螺旋的旋转方向，用大拇指指向螺旋的前进方向，与左手法则符合的是左手螺旋，与右手法则符合的是右手螺旋。左手螺旋和右手螺旋形成螺旋手性对称性，相应地，左手螺旋法则和右手螺旋法则构成手形手性对称性，如图 3 所示。



左手螺旋　　右手螺旋

图 2 螺旋手性对称性




图 3 左手法则和右手法则

在判断螺旋的旋转方向时，一定要注意螺旋线的倾斜方向，这是一条很重要的基本原则。四指所指的旋转方向是水平的，大拇指的方向是垂直的，二者的合成正是螺旋线的倾斜方向。在图 2 中，用箭头表示出螺旋线的倾斜方向，它既是螺旋线的上升方向，也是螺旋的前进方向。可以看出，螺旋线向左上方倾斜的螺旋是左手螺旋，螺旋线向右上方倾斜的螺旋是右手螺旋，这是一个很简便的判断螺旋方向的方法。将螺旋上下倒置，它的螺旋性方向总是不变的，所以螺旋是有确定方向的。

许多物体的运动是旋转运动，它们或者是顺时针方向运动，或者是逆时针方向运动。时钟的时针、分针和秒针的转动方向是一致的，把这个方向叫做顺时针方向，它在镜子中的像则是反方向转动的，叫做逆时针方向。所以，顺时针方向运动和逆时针方向运动构成旋转手性对称性，如图 4 所示。

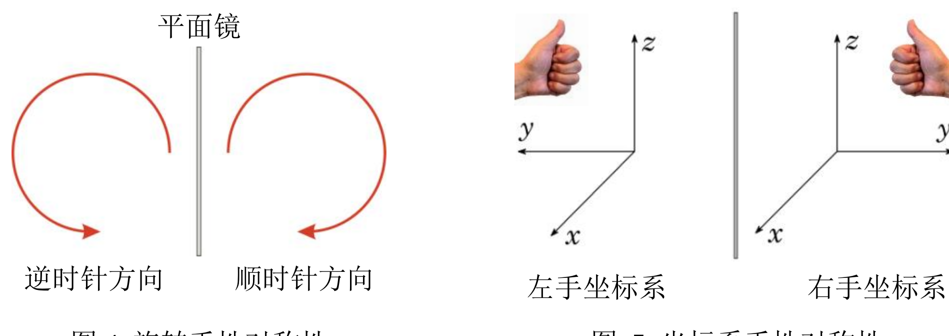


图 4 旋转手性对称性　　图 5 坐标系手性对称性

常用的坐标系有直角坐标系（又称笛卡尔坐标系）、极坐标系、柱面坐标系和球面坐标系等。直角坐标系如图 5 所示，在右手坐标系中，让右手的四指由 x 轴转过 90 °到 y 轴，则拇指的方向就是 z 轴的方向。取来一面镜子，则在镜外的观察者发现镜外的一个右手坐标系在镜内变成了左手坐标系，即让左手的四指由 x 轴转过 90 °到 y 轴，则拇指的方向就是 z 轴的方向。在两个坐标系中，x 轴都平行于镜面且垂直于纸面，z 轴都平行于镜面且位于纸面中，但两个坐标系中 y 轴的方向恰好相反。这两个坐标系也不具有平移对称性

和转动对称性，所以右手坐标系和左手坐标系构成坐标系手性对称性。

以上四种手性对称性实际上并无本质区别，它们都有一个共同特点，那就是都和手有关，是左手和右手不同姿势的表示。我们再一次看到手在手性对称性中扮演的重要角色，它不但方便了我们的日常生活和工作，也为我们研究复杂的手性现象提供了一种天然的表示方法。

一般来说，对称性有平移对称性、转动对称性和反射对称性三种。对于平面几何图形，反射对称性又称轴对称性，对于立体几何图形，反射对称性亦称镜像对称性。在镜像对称性中，如果“像”和“物”不能重合，则称为手性对称性。可见，手性对称性是反射对称性中很特别的一种对称性，并且它不能和平移对称性和转动对称性共存，具有手性对称性就必然不具有平移对称性和转动对称性，反之亦然。

3.手性

在手性对称的两个物体中，如果有一个发生缺陷或者不存在，则成为手性不对称的。我们关注手性实际上是研究自然界的手性不对称性，而不是手性对称性，所以常把手性不对称性简称为手性，这是应该特别注意的。在上面讲的四种手性对称性中，具体破缺的情况各有所不同。

在手形手性对称性的两个图形中，如果有一个发生了变化，或者缺失，则成为手性不对称的，简称为手形手性。例如，左手和右手是手形手性对称的，然而，有极少数人是先天性复拇畸形，即多长了一根拇指，有 6 个指头，或者因为工伤事故少了一个指头，则左手和右手就不能“互为镜像”，即手形手性对称性被破坏了，成为手形手性。如果因伤残失去一只手，只剩下左手或者右手，则手性对称性百分之百地被破坏了，即达到最大的破坏。这一类手性物体的例子是很多的，如剪刀、照相机和计算机键盘等都是手形手性物体。兵马俑的发髻都在右边，所以这种发型也是手形手性的。我们熟悉的氨基酸、葡萄糖、果糖、核糖、卵磷脂、脑磷脂和胆固醇等生物大分子可以有两种互为镜像的空间立体结构，它们或者类似于左手，或者类似于右手，成为手形手性对称的。但在生物体中只存在其中的一种，因而生物体内的这些生物大分子是手形手性的。总之，如果一个物体的镜像在自然界不存在，那么它就是手形手性的。

自然界中的螺旋非常普遍，许多物体的几何结构是螺旋形的，但螺旋的方向并不是成对出现的，它们或者只是右手螺旋，或者只是左手螺旋，从而破坏了螺旋手性对称性，成为螺旋手性。一个最典型的例子是螺丝钉，它的螺纹是按照右手螺旋法则向上旋进的，如图 6（a）所示。螺丝钉的外形结构为什么都是右旋的呢？为了符合人们用右手使用螺丝刀（又叫螺丝起子）的习惯。当我们要旋进螺丝钉时，总是用右手握着螺丝刀，将螺丝刀的尖端放入螺丝钉端头上的凹槽内，沿着四个手指的方向旋转螺丝钉，则大拇指就指向螺丝钉的前进方向，如图 6（b）所示。当我们要退出螺丝钉时，则要反方向旋转，螺丝钉退出的方向也与原来前进的方向相反，结果还是符合右手螺旋法则。可见，旋进和退出螺丝钉的方向都是按右手螺旋法则进行的。与螺丝钉类似的情况还有很多，例如，钻头、螺栓和螺口灯泡等的螺纹都是右旋的；一般瓶口的螺纹也是右旋的，所以旋紧或旋松所有瓶盖的方向都要按右手螺旋法则旋转。

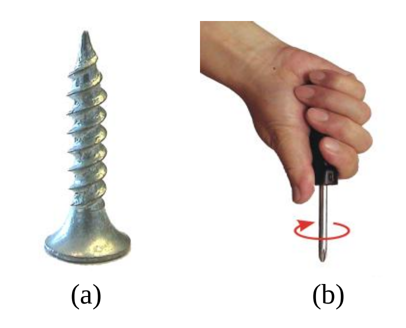


图 6 右手螺丝钉

同样，由于大多数人是右撇子，我们平常见到的绳子大多是左旋的。这是因为右撇子用右手搓出的单股绳子的倾斜方向是右旋的，将两根右旋的绳子加拈、对折就可以缠绕成一条更粗的左旋绳子。当然，将这根左旋的绳子再次加拈、对折就又缠绕成右旋绳子。相反，左撇子搓出的单股绳子是左旋的，将两根左旋的绳子加拈、对折就可以缠绕成一条更粗的右旋绳子。我们吃麻花时不妨注意一下，就可以发现


图 7 天津大麻花的螺旋结构

麻花是螺旋手性的。麻花由两条（或三条）呈螺旋结构的面条组成。按照上面讲的规律，如果加工麻花的人是右撇子，则他搓成的每一条面条是右手螺旋，于是两条右旋面条相互缠绕成左手螺旋结构的麻花。如果是左撇子，则他搓成的每一条面条是左手螺旋，两条左旋面条就会相互缠绕成右手螺旋结构的麻花。图 7 是著名的天津大麻花，它的螺旋线是向左上方倾斜的，所以是左手螺旋结构，而组成它的更细的面条是右手螺旋，说明制作这些麻花的面点师是右撇子。

从微观的分子到宏观的动物、植物和微生物都有螺旋形结构，而且多数是右手螺旋，成为螺旋手性。例如，构成生命遗传物质的核糖核酸（RNA）和脱氧核糖核酸（DNA）是右手螺旋，大多数植物的攀缘茎和一些微生物的结构是右旋的。

在旋转手性对称性中，顺时针方向和逆时针方向不可能同时存在，从而破坏了手性对称性，成为旋转手性。例如，时钟指针都是顺时针方向转动的，在现实生活中没有逆时针方向转动的时钟，所以时钟的转动是旋转手性的。在讨论旋转手性时明确旋转方向是很重要的，但由于旋转方向是相对的，所以容易产生混乱。我们说时钟指针的旋转方向是顺时针方向，这里实际上已经规定了观察方向，那就是要面对着时钟表面观察。如果从时钟的后面观察，那么顺时针方向就要重新定义了。

地球每时每刻都在自西向东自转着。从北极的上空往下看，地球的自转方向是逆时针方向。地球的自转方向也可以用右手定则表示，即伸出右手，用大拇指竖直指向北极星，则弯曲的四个手指所指的方向就是地球的自转方向。所以，我们可以说地球自转的方向是自西向东，也可以说是逆时针方向自转的、或者是右旋方向自转的。一个乒乓球的旋转既可以是右旋的，也可以是左旋的，因而不是手性的，但地球的自转总是右旋的，所以说地球的自转是旋转手性的。同样，银河系的自转、太阳的自转、行星和它们卫星的公转与自转、小行星的公转和自转方向、基本上是绕着同一方向自西向东逆时针方向转动的，或者说是按照右旋方向旋转的，所以都是旋转手性的。

我们观看北半球台风、龙卷风和反气旋的卫星照片时，发现台风和龙卷风由外向内（注意：不是由内向外）是逆时针方向旋转的，而反气旋由外向内是顺时针方向旋转的，或者说台风和龙卷风都是右旋的，反气旋都是左旋的。类似地，在南半球，台风和龙卷风都是左旋的，而反气旋都是右旋的。再如，人头顶的发旋是右旋的，蜗牛、田螺和海螺的螺纹都是右旋的，所以它们也是旋转手性的。

这里要特别指出，有的文献把 Chirality 等同于 Handedness，这在物理学中是不完全合适的。Chirality 的意思是手征性，Handedness 的意思是手性。物理学中还有一个螺旋度（Helicity）的概念，它将粒子分为左旋粒子和右旋粒子。手征性和螺旋度都描述基本费米子的手性（Handedness），但它们是两个完全不同的概念。螺旋性是实验上能够观测的，所以是粒子在表观上的手性表示；手征性是量子场论中的一个概念，它将粒子分为左手手征性和右手手征性，用以描写隐藏在粒子内部的手性倾向，是实验上不能观测的。只当粒子的运动速度等于或者接近光速时，手征性（Chirality）才等同于螺旋度（Helicity）。因此，将手性翻译为 Handedness 更为准确。

4.功能手性

上面只从几何结构方面讨论手性不对称性，然而，有些手性不对称性与物体的几何结构无关。例如，图 8 所示的两个阿拉伯数字，作为几何图形它们显然是反射对称的。但是，如果这两个图形是立体的，且它们的前、后表面有不同的花纹或颜色（如前面是黑色，后面是白色），使得它们虽然互为镜像，但不能完全重合，于是就成为手性对称的。可是，这两个阿拉伯数字图形表示不同的数值，一个是“二”，另一个是“五”，这两个“数”不能“互为镜像”，从这个意义上讲它们是手性不对称的，即是手性的。

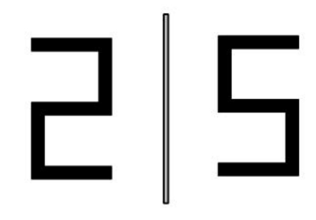


图 8 互为镜像的两个数字几何图形

左手和右手是手形手性对称的，但对右撇子而言，右手操作能力强，左手

操作能力弱，如用右手使筷子、右手写字、右手刷牙、右手洗脸、右手投掷、右手弹琴、右手握球拍、右手擦火柴、右手穿针引线、伸出右手握手、举起右手敬礼、握起右拳宣誓，等等。右手用得多，左手用得少，称为右利手，俗称“右撇子”。也有人左手用得多，右手用得少，称为左利手，俗称“左撇子”。左、右手用得差不多，称为均利手。据统计，全球大约有 90%的人都是右撇子，左撇子只是少数。这种差异使两只手的操作能力不能“互为镜像”，因而成为手性不对称的，并且说手的功能是手性的。再如，一只手的指甲涂了红色指甲油，另一只手的指甲涂了紫色指甲油，则手性表现为两只手的颜色不能“互为镜像”；给一只手喷洒了香水，另一只手没有喷洒香水，则手性表现为两只手的味道不能“互为镜像”；等等。由此可见，手性乍听起来似乎很陌生，其实不然，在日常生活中是很普遍的。

手性对称的两种化合物有不同的旋光性和药物活性，从而使二者的性能不能“互为镜像”，因此破坏了手性对称性而成为手性不对称的。例如，右旋维生素 C 能使平面偏振光的振动面向右旋转，并有预防治疗疾病和美容护肤等功效，而左旋维生素 C 则能使平面偏振光的振动面向左旋转，而且没有上述功效，所以说维生素 C 是功能手性的。

坐标系的手性对称性也会被破坏成为手性不对称的。在物理学中，坐标系用于描述物体在空间的运动规律，如果用左手坐标系描述的物理规律与用右手坐标系描述的不相同，则两个坐标系中的物理规律就不能“互为镜像”，因而成为手性不对称的。例如，弱相互作用的基本规律在两个坐标系中是不一样的，所以是坐标系手性不对称的，宇称不守恒正是这样一种功能手性，它导致宇宙中只存在左旋中微子和右旋反中微子；在 β 射线中左旋电子远多于右旋电子；对于两个以相同速度飞行的不稳定费米子，左旋费米子的寿命总是小于右旋粒子的寿命。

实验表明，某些原子核也是手性的。原子核是由质子和中子组成的，由奇数个质子和奇数个中子组成的原子核叫奇奇核。奇奇核中最后一个奇中子叫价中子，最后一个奇质子叫价质子，剩余的中子和质子组成原子核的核芯。像行星绕太阳公转那样，价中子和价质子在原子核内各自独立地绕核芯转动，而核芯本身也在转动。有转动就有角动量，价质子的角动量、价中子的角动量和核芯的角动量三者相互垂直，可以形成类似于左手坐标系或者右手坐标系那样的结构，如图 9 所示。图中用蓝色表示价质子的转动和它的角动量 J_p，红色表示价中子的转动和它的角动量 J_n，灰色椭球是核芯，绿色箭头是核芯的角动量 R，它们三者合成的总角动量是 J。原子核的转动使原子核的形状由球形变为椭球形，椭球三个主轴的长短由三个角动量的大小决定。这样，同样的原子核可以有左手原子核和右手原子核两种结构，它们显然是手性对称的。然而，左手原子核和右手原子核的转动能量是不同的，从而破坏了手性对称性。在实验上，这种不同使原子核的某些转动能谱发生分裂，导致原来的一条谱线分裂为距离非常相近的两条谱线，形成手性双重带。手性双重带的距离越大，手性对称性被破坏的程度越高。1997 年，德国物理学家弗劳恩多夫和我国物理学家孟杰首次预言了原子核的手性，随后被实验证实。

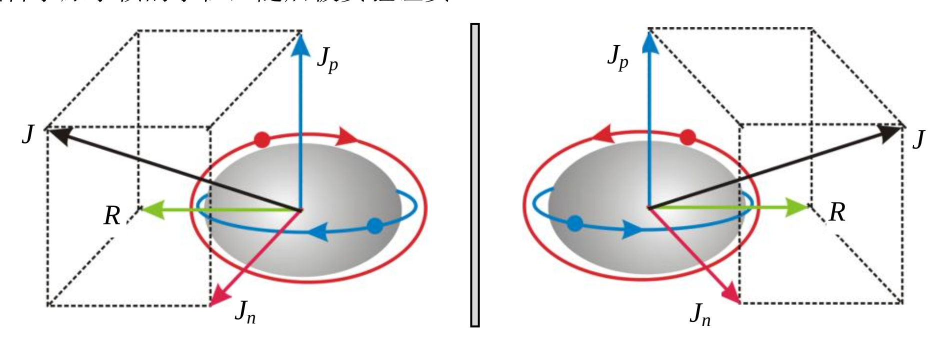


图 9 左手原子核（左图）和右手原子核（右图）

电场强度 $\boldsymbol{E}$、磁场强度 $\boldsymbol{H}$ 和波矢 $\boldsymbol{k}$ 三者的方向既可以遵从右手定则，也可以遵从左手定则，从而使电磁波的方向既能用右手定则，又能用左手定则表示，它们互为镜像，因而是手性对称的。然而，在这两种情况中的材料有迥然不同的物理性质，由此形成右手材料和左手材料，使它们成为功能手性材料。右手材

料就是我们在日常生活中使用的各种材料，左手材料则是一种新型人工合成材料，它有许多奇异的光学现象，如负折射率、负光压、反常切伦科夫辐射和逆多普勒频移等，这些性质将对材料科学产生深远影响。

人工制造的手性材料是一类特殊的功能材料，除左手材料外，还有很多种类，如手性识别材料、手性非线性光学材料、手性介孔材料、手性液晶显示材料、手性传感器、可用于隐身技术的手性吸波材料等等。这些材料有的是由手性分子构成的宏观上连续的材料，有的是由非手性分子通过一定方式排列（主要是螺旋结构排列）成的宏观上具有手性结构的材料，有的是在普通非手性材料中加入一些手性掺杂制成的。随着科学的发展，手性材料的品种还会不断增加，进而开拓出更多的实际应用。

综上所述，手性是**存在于**自然界的普遍现象，也是自然界的基本属性之一。手性不是手性对称性，手性是手性对称性的破缺，手性是手性不对称性的简称，不能混淆二者的本质差别。破缺就是破坏或者缺失，它表现为镜外和镜内的事物在形状和性质等方面的不同。根据破缺的不同手性可分为结构手性和功能手性两种。结构手性是互为镜像的两个物体在自然界存在的数量不同，其中之一的数量比较少，或者根本不存在。结构手性强调的是几何结构，手形手性、螺旋手性和旋转手性都是结构手性。功能手性强调的是功能，即它们的几何结构或者坐标系是手性对称的，但其功能不是“互为镜像”的，即其功能是手性不对称的。功能手性是结构手性的拓展，它不仅包括物体的几何形状，还包括物体的物理性质、化学性质、数学意义、生物活性、药物活性、生物的行为和习性等功能，从而使手性的表现形式更为多样化，成为自然界多样性与复杂性的重要特征之一。人民教育出版社出版的《手性探秘》对手性有更详细的讨论。

参 考 文 献

1. 吴全德. 科学的对称之美. 科学时报，2005-08-09
2. 史志强，手性探秘，人民教育出版社，2017 年，第一章
3. Hegstrom R A, Kondepudi D K. The Handedness of the Universe. *Scientific American*, **1990, 262(1)**: 108-115
4. 姚彤炜. 手性药物分析. 北京：人民卫生出版社，2008 年，第一章

Discussion on The Definition of Handedness

Zhi-Qiang Shi

Department of Physics, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

Handedness symmetry and handedness are two different concepts. The former studies symmetry and the latter studies the breaking of symmetry. Handedness can be divided into structural handedness and functional handedness. The hand-shape handedness, the helix handedness and the rotation handedness are all structural handedness. Functional handedness emphasizes function, that is, its geometric structure or coordinate system is handedness symmetric, but its function (physical and chemical property, mathematical meaning, biological and drug activity, biological behavior and habits etc.) are not "mirror images" of each other. Functional handedness is an extension of structural handedness, which makes handedness's style more diversified. Handedness molecules are one of functional handedness.

Keywords: handedness symmetry, handedness, structure handedness, functional handedness